

Aktivitas fosfatase dan produksi asam organik di rhizosfer dan hifosfer bibit kelapa sawit bermikoriza^{*)}

Phosphatase activity and organic acid production in rhizosphere and hyphosphere of mycorrhizal oil palm seedling

Happy WIDIASTUTI¹, Nampiah SUKARNO², Latifah Kosim DARUSMAN²
Didiek Hadjar GOENADI³, Sally SMITH⁴ & Edi GUHARDJA²

¹Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor, 16151, Indonesia,

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16141, Indonesia

³Lembaga Riset Perkebunan Indonesia, Bogor, 16151, Indonesia

⁴Soil and Land Systems, School of Earth and Environmental Sciences, Adelaide University, Australia

Summary

Studies on the mechanism of the higher P uptake of oil palm seedling colonized with arbuscular mycorrhizal fungi through solubilizing of fixed P by organic acid or hydrolysis of organic P by phosphatase activity have not been reported yet. This experiment was aimed to examine the phosphatase activity and production of organic acids in rhizosphere and hyphosphere, mycorrhizal and non-mycorrhizal oil palm seedling. Oil palm seedling were grown for 26 weeks in sterilized Cikpomayak acid soil in 20.5 cm diameter pots with three compartments, a central one for root growth (rhizosphere) and two adjacent on both side next to the root compartment for hyphal growth (hyphosphere). Compartmentation was accomplished by a 0.25 mm stainless steel filter. All compartment received a uniform concentration of phosphorus (300 P mg kg⁻¹ soil) either in organic (Na-phytate) or inorganic NH₄HPO₄ form. Acaulospora tuberculata inoculum was established in pot culture using Pueraria phaseoloides as a host, while Gigaspora margarita was propagated using maize as a host. AM fungal inoculum applied as mixed propagules in optimum dosage. The experiment was conducted to asses nine treatments combination between AM inoculation (without, A. tuberculata, and G. margarita) and sources of P (without P, inorganic P NH₄HPO₄, and organic P Na phytate). Factorial in complete

randomized design with two factors and three replications was used in this research. In the hyphal compartment acid phosphatase activity was much higher than alkaline phosphatase activity, while in the rhizosphere alkaline phosphatase activity was higher compared to acid phosphatase activity. Acid phosphatase activity in rhizosphere of oil palm seedlings inoculated with A. tuberculata was significantly higher compared to uninoculated seedlings. However, both acid phosphatase activity and alkaline phosphatase activity were slightly enhanced by mycorrhizal inoculation. In contrast, organic acid production between inoculated seedling and uninoculated seedling was not significantly different. It seems that AM fungal symbiosis with oil palm enhance mineralization of organic P in spite of solubilization of inorganic P.

[Key words: *Acaulospora tuberculata*, *Gigaspora margarita*, rhizosphere, hyphosphere oil-palm seedling, acid soil, phosphatase, organic acid]

Ringkasan

Mekanisme peningkatan pertumbuhan kelapa sawit bermikoriza khususnya yang disebabkan aktivitas pelarutan P anorganik yang terfiksasi melalui pelarutan oleh asam organik atau hidrolisis P organik oleh aktivitas fosfatase

*) Bagian dari disertasi penulis pertama

belum dilaporkan. Percobaan ini bertujuan menetapkan aktivitas fosfatase dan produksi asam organik di rhizosfer dan hifosfer, bibit kelapa sawit bermikoriza dan tidak bermikoriza. Kelapa sawit ditumbuhkan selama 26 minggu pada tanah masam Cikopomnyak steril pada pot berdiameter 20,5 cm yang terbagi atas tiga daerah, ruang tengah untuk pertumbuhan akar (rhizosfer) dan dua daerah di sebelahnya untuk pertumbuhan hifa (hifosfer). Penyekatan pot menggunakan filter stainless steel berukuran lubang 0,25 mm. Semua daerah dipupuk P pada konsentrasi 300 P mg kg⁻¹ tanah baik dalam bentuk organik (Na-phytate) maupun anorganik (NH₄HPO₄) Inokulum CMA merupakan hasil perbanyakan dengan sistem kultur pot menggunakan inang *Pueraria phaseoloides* untuk *Acaulospora tuberculata* sedangkan untuk *Gigaspora margarita* menggunakan inang jagung. Inokulum CMA berupa propagul campuran pada dosis optimum. Percobaan dilakukan untuk menguji sembilan perlakuan yang merupakan kombinasi antara inokulasi CMA (tanpa, *A. tuberculata*, dan *G. margarita*) dan sumber P (tanpa P, anorganik P NH₄HPO₄, dan organik P Na phytate). Rancangan percobaan ialah rancangan acak lengkap faktorial dengan tiga ulangan untuk masing-masing perlakuan. Di hifosfer aktivitas fosfatase asam lebih tinggi daripada fosfatase alkalin, sedangkan di rhizosfer aktivitas fosfatase alkalin lebih tinggi dibandingkan dengan aktivitas fosfatase asam. Aktivitas fosfatase asam di rhizosfer bibit kelapa sawit yang diinokulasi *A. tuberculata* nyata lebih tinggi dibandingkan dengan bibit yang tidak diinokulasi. Aktivitas fosfatase asam dan fosfatase alkalin sedikit lebih tinggi dengan inokulasi CMA. Sebaliknya, produksi asam organik antara bibit yang diinokulasi dan bibit yang tidak diinokulasi tidak berbeda nyata. Tampak bahwa simbiosis CMA dengan kelapa sawit lebih meningkatkan mineralisasi P organik dan kurang meningkatkan pelarutan P anorganik.

Pendahuluan

Simbiosis cendawan mikoriza arbuskula (CMA) dengan kelapa sawit dilaporkan berpengaruh positif terhadap serapan P dan pertumbuhan tanaman (Blal *et al.*, 1990; Widiastuti *et al.*, 1998). Dalam simbiosis-

nya dengan tanaman CMA meningkatkan serapan hara tanaman melalui i) luasnya perakaran tanaman sehingga memperluas area penyerapan, ii) hifa eksternal yang akan memperluas area penyerapan karena diameter yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan akar (1/10) sehingga dapat meningkatkan serapan hara 60 kali (Bolan, 1991), iii) percepatan pergerakan hara P karena peningkatan afinitas akar terhadap P, iv) peningkatan kapasitas serapan hara akar karena akar bermikoriza hidup lebih lama dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza, v) peningkatan secara langsung atau tidak langsung transfer hara antar sesama tanaman bermikoriza, dan vi) induksi pembentukan asam organik dan fosfatase yang masing masing meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman melalui pelarutan dan mineralisasi (Orcutt & Nilsen, 2000).

Ae *et al.* (1990) melaporkan bahwa tingginya efisiensi serapan P pada tanaman bermikoriza tidak disebabkan tingginya aktivitas pelarutan P yang tidak tersedia, namun disebabkan oleh tingginya efisiensi serapan P dari bentuk P yang tersedia. Tarafdar & Marschner (1994) mengemukakan bahwa kemampuan CMA dalam simbiosisnya dengan tanaman dalam meningkatkan serapan P tanaman dari P yang tidak tersedia melalui produksi asam organik dan peningkatan aktivitas fosfatase tidak konsisten.

Unsur P dalam praktek pemupukan sebagian besar menjadi tidak tersedia bagi tanaman karena terikat dalam bentuk anorganik dan organik (50-80%). Di dalam tanah, P relatif tidak mudah bergerak sehingga difusi dan translokasi P dalam air ke akar bukan merupakan mekanisme yang penting untuk akumulasi unsur ini. Ketersediaan P bagi tanaman pada larutan tanah dapat ditingkatkan melalui senyawa pengkelat seperti asam organik. Fabig *et al.* (1989) menunjukkan adanya asam organik yang belum dapat diidentifikasi dalam akar

tanaman bermikoriza. Selain itu, P dalam bentuk anorganik juga dapat dibebaskan dari senyawa P organik melalui aktivitas fosfatase.

Pada tanah dengan kandungan P anorganik yang rendah, serapan P bergantung pada P organik yaitu melalui aktivitas fosfatase (Joner & Jakobsen, 1995). Tarafdar & Marschner (1994) mengemukakan bahwa aktivitas fosfatase distimulasi oleh bahan organik dan adanya senyawa P organik. Tanaman inang dan spesies CMA dapat mempengaruhi aktivitas fosfatase (Rao & Tarafdar, 1993). Diduga spesies CMA yang tidak terseleksi pada kondisi masam, dan tidak tersedianya sumber P yang sesuai untuk aktivitas fosfatase serta produksi asam organik diduga menyebabkan hasil yang tidak konsisten.

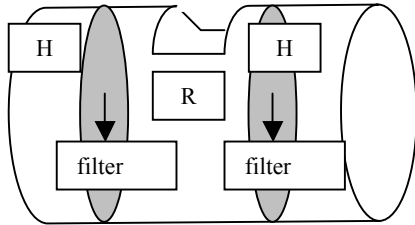
Kolonisasi CMA pada kelapa sawit meningkatkan perakaran (Widiastuti *et al.*, 2003). Namun belum diketahui apakah akar kelapa sawit menghasilkan asam organik dan meningkatkan aktivitas fosfatase atau kedua senyawa tersebut dihasilkan oleh hifa eksternal CMA yang terbentuk dalam simbiosisnya dengan kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan mempelajari kemampuan bibit kelapa sawit bermikoriza meningkatkan serapan P dari P yang tidak tersedia melalui analisis aktivitas fosfatase dan produksi asam organik. Untuk mempelajari apakah peningkatan serapan P bibit kelapa sawit bermikoriza secara langsung khususnya melalui hifa eksternal CMA atau secara tidak langsung yaitu melalui akar tanaman maka akan dipisahkan antara rhizosfer dan hifosfer. Dalam penelitian ini digunakan dua spesies CMA yang efektif untuk kelapa sawit (Widiastuti *et al.*, 1998).

Bahan dan Metode

Percobaan dilakukan di Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor dan Lab. Mikologi FMIPA IPB, Bogor. Bahan tanam yang digunakan ialah kecambah kelapa sawit berasal dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan. Tanah yang digunakan sebagai medium tanam adalah tanah masam Cikopomayak yang disterilisasi dengan oven 3 x 8 jam dengan selang semalam.

Inokulum yang digunakan ialah propagul campuran yang merupakan hasil perbanyakan dengan metode kultur pot menggunakan inang *Pueraria phaseoloides* untuk *A. tuberculata* dan jagung untuk *G. margarita*. Rancangan percobaan ialah rancangan kelompok acak lengkap dengan pola faktorial. Sembilan perlakuan yang diuji merupakan kombinasi spesies CMA (tanpa, *A. tuberculata*, dan *G. margarita*) dan sumber P [tanpa P, P organik (Na fitat), dan P anorganik (NH_4HPO_4)]. Masing-masing perlakuan diulang tiga kali.

Kecambah kelapa sawit ditanam di pot yang dirancang khusus berupa peralon berdiameter 20,5 cm (Gambar 1). Di dalam peralon tersebut terdapat tiga ruang yaitu dua ruang bebas akar (hifosfer) dan satu ruang akar dan hifa (rhizosfer). Sekat yang digunakan untuk memisahkan antara hifosfer dan rhizosfer berupa *filter stainless steel* dengan spesifikasi ukuran lubang 0,25 mm. Tanah bereaksi sangat masam (pH 3,8), kandungan C, N, P_2O_5 , K_2O , CaO, MgO sangat rendah yakni masing masing 1,68%; 0,1%; 0,01%; 0,008%; 0,06%; 0,05%; serta aluminum dapat ditukar (Al_{dd}) 16,13 mEq100g⁻¹. Inokulasi dilakukan di ruang rhizosfer sedangkan pupuk diberikan di ruang rhizosfer dan hifosfer. Inokulum CMA diberikan dalam bentuk propagul



Gambar 1. Pot yang digunakan dalam percobaan dengan tiga daerah yaitu dua daerah hifosfer (H) dan satu daerah rhizosfer (R) yang dipisahkan dengan filter stainless steel.

Figure 1. Pot used in the experiment comprising three compartments, i.e. a central one for root growth (R), two adjacent compartments separated from the central compartment by stainless steel filter, for growth of AM fungi hyphal (H).

campuran berupa spora, akar terinfeksi, dan hifa pada dosis 36% dan 40% masing-masing untuk perlakuan *A. tuberculata* dan *G. margarita* (Widiastuti et al., 2002), sedangkan pupuk P diberikan 300 ppm (Hardjono, 1988). Sebagai pupuk dasar ialah urea, kieserit, dan KCl (Hardjono, 1988).

Untuk menjaga kondisi percobaan seaseptik mungkin maka tanaman diinkubasi dalam ruang tumbuh sederhana dengan pengaturan suhu 26°C, cahaya (1500 luks), dan kelembaban (60-70%). Peubah yang diukur mencakup aktivitas fosfatase tanah (Joner & Jakobsen, 1995), fosfatase akar (Dodd et al., 1987), dan kandungan asam organik tanah dan akar (oksalat, malat, dan sitrat) dengan HPLC. Selain itu, dilakukan pengamatan serapan hara P, bobot basah dan kering bibit kelapa sawit, kimia tanah, persen infeksi CMA, dan jumlah mikroba (cawan sebar). Pengamatan infeksi CMA dilakukan setelah akar diwarnai menurut metode yang dikemukakan Koske & Gemma

(1989) dengan modifikasi lama waktu penghilangan sitoplasma (*clearing*).

Hasil dan Pembahasan

Aktivitas fosfatase dan produksi asam organik

Analisis ragam menunjukkan bahwa pengaruh interaksi CMA dan pupuk P terhadap sebagian besar peubah yang diamati tidak nyata sehingga dibahas pengaruh utama perlakuan. Di daerah hifosfer, kolonisasi CMA cenderung meningkatkan aktivitas fosfatase asam dan basa. Lebih tingginya aktivitas fosfatase ini menunjukkan bahwa kolonisasi CMA secara langsung meningkatkan mineralisasi P organik. Namun, peningkatan aktivitas fosfatase tersebut tidak nyata (Tabel 1). Hasil ini sejalan dengan penelitian Joner et al. (1995) yang menggunakan *G. invermaium* pada mentimun.

Inokulasi *A. tuberculata* meningkatkan secara nyata aktivitas fosfatase asam di rhizosfer dibandingkan dengan kontrol (Tabel 1). Sedangkan inokulasi *G. margarita* tidak meningkatkan aktivitas fosfatase asam di rhizosfer. Hasil ini menunjukkan bahwa masing-masing spesies CMA mempunyai kemampuan yang berbeda terhadap aktivitas fosfatase. *A. tuberculata* merupakan cendawan yang diisolasi dari daerah tropis (Kertajaya, Lebak) sehingga diduga mempunyai aktivitas mineralisasi P organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan *G. margarita* khususnya pada tanah percobaan yang diuji. Selain itu, lebih tingginya aktivitas fosfatase asam di rhizosfer dibandingkan dengan kontrol menunjukkan bahwa inokulasi *A. tuberculata* dapat meningkatkan mineralisasi P organik (fitat) oleh akar atau hifa yang terdapat di rhizosfer. Fitat dapat diserap oleh akar

Aktivitas fosfatase dan produksi asam organik di rhizosfer dan hifosfer

Tabel 1. Pengaruh inokulasi CMA dan sumber P terhadap aktivitas fosfatase asam dan basa di hifosfer dan rhizosfer serta akar bibit kelapa sawit umur 26 minggu.

Table 1. Effect of AM fungal inoculation and P sources on acid and alkaline phosphatase activity in the hyphosphere, rhizosphere, and root of 26 weeks old oil palm seedlings.

Pengaruh, Effect	Hifosfer, <i>Hyphosphere</i> (EU x 10 ⁻⁴)		Rhizosfer, <i>Rhizosphere</i> (EU x 10 ⁻⁴)		Akar, <i>Root</i> (EU x 10 ⁻⁴)
	Fase asam <i>Acid</i> phosphatase	Fase basa <i>Alkaline</i> phosphatase	Fase asam <i>Acid</i> phosphatase	Fase basa <i>Alkaline</i> phosphatase	
Inokulasi CMA <i>AMF inoculation</i>					
Tanpa CMA (<i>without AMF</i>)	58 a ¹⁾	38 a	28 b	44 a	61 a
<i>A. tuberculata</i>	69 a	48 a	43 a	40 a	56 a
<i>G. margarita</i>	66 a	69 a	28 b	43 a	68 a
Sumber (<i>Source</i>) P					
Tanpa pemupukan <i>unfertilizer</i>	72 a	95 a	44 a	62 a	77 a
P anorganik (<i>inorganic P</i>)	55 a	39 b	26 b	28 b	71 a
P organik (<i>organic P</i>)	66 a	21 b	28 b	28 b	38 a

¹⁾Angka dalam kolom yang sama pada masing-masing kelompok yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (P < 0,05).

¹⁾Figure (s) in same column followed by the same letter is not significantly different according to Duncan multiple range test (P < 0.05).

tanaman melalui aktivitas mineralisasi oleh fosfatase asam (Tarafdar & Marschner, 1994). Hasil yang sama juga dikemukakan Tarafdar & Marschner (1994) dalam penelitiannya pada gandum yang diinokulasi *Glomus mosseae*. Peran CMA yang tidak langsung kemungkinan melalui induksi gen gen kahat P seperti fosfatase untuk ter-ekspresi. Namun Harrison (1999) mengemukakan bahwa dengan adanya infeksi CMA maka di akar ekspresi empat gen kahat P antara lain penyandi fosfatase dan gen yang berperan dalam transport P mengalami *down regulated*.

Produksi asam oksalat di hifosfir bibit yang diinokulasi CMA nyata lebih rendah dibandingkan dengan bibit yang tidak diinokulasi CMA dan kandungan asam oksalat terendah ialah pada inokulasi *A. tuberculata* (Tabel 2). Sedangkan di rhizosfer tidak terdapat perbedaan produksi

asam oksalat antara inokulasi CMA dan kontrol. Walaupun demikian, terdapat kecenderungan asam organik yang teramati di rhizosfer bibit kelapa sawit yang diinokulasi *A. tuberculata* lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Tampaknya penekanan produksi asam organik terjadi karena peningkatan aktivitas fosfatase. Selain itu, rendahnya produksi asam oksalat di hifosfer bibit yang diinokulasi *A. tuberculata* kemungkinan juga disebabkan oleh metabolisme mikroba kontaminan yang menggunakan asam organik sebagai sumber C. Pengamatan populasi mikrob menunjukkan bahwa populasi mikrob di hifosfer bibit yang diinokulasi *A. tuberculata* berkisar 30,10⁴ /g medium. Kontaminasi kemungkinan disebabkan pemberian senyawa organik dan lamanya waktu inkubasi yaitu 26 minggu.

Tabel 2 Pengaruh inokulasi CMA dan sumber P terhadap kandungan beberapa asam organik di hifosfer dan rhizosfer bibit kelapa sawit umur 26 minggu.

Table 2. Effect of AM fungal inoculation and P sources on organic acid content in the hyphosphere and rhizosphere of 26 weeks old oil palm seedlings.

Pengaruh, Effect	Hifosfer, Hyphosphere (x 10 ⁻³ ppm)			Rhizosfer, Rhizosphere (x 10 ⁻³ ppm)		
	Asam oksalat, Oxalic acid	Asam sitrat, Citric acid	Asam malat, Malic acid	Asam oksalat, Oxalic acid	Asam sitrat, Citric acid	Asam malat, Malic acid
Inokulasi CMA AMF inoculation						
Tanpa CMA (without AMF)	24 a ¹⁾	11 a	4 a	24 a	17 a	1 ab
<i>A. tuberculata</i>	5 c	9 a	1 a	13 a	10 a	0,2 b
<i>G. margarita</i>	10 b	10 a	0,2 a	21 a	15 a	4 a
Sumber (Source) P						
Tanpa pemupukan Unfertilizer	8 b	9 a	1,1 a	18 a	11 a	2,2 a
P anorganik (inorganic P)	10 b	11 a	2,2 a	19 a	15 a	1,0 a
P organik (organic P)	21 a	10 a	1,9 a	21 a	16 a	1,9 a

¹⁾Angka dalam kolom yang sama pada masing-masing kelompok yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan (P < 0,05).

¹⁾Figure (s) in same column followed by the same letter is not significantly different according to Duncan multiple range test (P < 0.05).

Produksi asam organik di hifosfer dan rhizosfer tidak dipengaruhi pemberian P, kecuali produksi asam oksalat di hifosfer. Pemberian P organik menghasilkan asam oksalat nyata lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Selain itu, di akar inokulasi *G. margarita* menghasilkan asam oksalat dan asam sitrat nyata lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol (Tabel 3). Diduga di akar kelapa sawit yang terkolonisasi *G. margarita* terjadi pengikatan Al oleh asam sitrat dan oksalat. Menurut Ma *et al.* (2001) produksi asam organik dalam akar merupakan salah satu mekanisme detoksifikasi Al. Namun pemberian P baik dalam bentuk organik maupun anorganik menghasilkan asam sitrat dan malat nyata di akar lebih rendah dibandingkan dengan kontrol (Tabel 3).

Kimia tanah dalam kaitannya dengan aktivitas fosfatase dan produksi asam organik

Analisis kimia tanah di hifosfer menunjukkan inokulasi *A. tuberculata* menghasilkan P tersedia nyata lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Selain itu, pemberian P anorganik nyata meningkatkan P total dan P tersedia dibandingkan dengan kontrol (Tabel 4). Diduga P tersedia yang tinggi disebabkan oleh peningkatan aktivitas fosfatase atau tidak terikatnya P anorganik yang ditambahkan oleh Al. Namun, peningkatan aktivitas fosfatase di hifosfer menekan produksi asam organik khususnya asam oksalat (Tabel 2). Tampak bahwa lebih rendahnya produksi asam oksalat di hifosfer tidak menurunkan pH (Tabel 4).

Aktivitas fosfatase dan produksi asam organik di rhizosfer dan hifosfer

Tabel 3. Pengaruh inokulasi CMA dan sumber P terhadap kandungan beberapa asam organik di akar bibit kelapa sawit umur 26 minggu.

Table 3. Effect of AM fungal inoculation and P sources on organic acid content in root of 26 weeks old oil palm seedlings.

Pengaruh, Effect	Akar, Root (ppm)		
	Asam oksalat <i>Oxalic acid</i>	Asam sitrat <i>Citric acid</i>	Asam malat <i>Malic acid</i>
Inokulasi CMA			
<i>AMF inoculation</i>			
Tanpa CMA (<i>without AMF</i>)	0,018 b ¹⁾	0,012 b	0,0004 a
<i>A. tuberculata</i>	0,011 b	0,011 b	0,0007 a
<i>G. margarita</i>	0,031 a	0,031 a	0,0013 a
Sumber (<i>Source</i>) P			
Tanpa pemupukan			
<i>Unfertilizer</i>	0,020 a	0,025 a	0,0017 a
P anorganik (<i>inorganic P</i>)	0,016 a	0,010 b	0,0003 b
P organik (<i>organic P</i>)	0,023 a	0,018 b	0,0003 b

¹⁾Angka dalam kolom yang sama pada masing-masing kelompok yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan ($P < 0,05$).

¹⁾Figure (s) in same column followed by the same letter is not significantly different according to Duncan multiple range test ($P < 0.05$).

Tabel 4. Pengaruh inokulasi CMA dan sumber P terhadap kimia tanah hifosfer bibit kelapa sawit umur 26 minggu.

Table 4. Effect of AM fungal inoculation and P source on soil characteristics of the hyphosphere of 26 weeks old oil palm seedlings.

Pengaruh Effect	pH	N (%)	P ₂ O ₅ total, Total P ₂ O ₅ (%)	P tersedia, Available P, (Olsen) (mg/kg)	K total Total K (%)
Inokulasi CMA					
<i>AMF inoculation</i>					
Tanpa CMA (<i>without AMF</i>)	3,57 a ¹⁾	0,158 a	0,033 a	13,58 b	0,029 a
<i>A. tuberculata</i>	3,55 a	0,148 b	0,033 a	17,68 a	0,030 a
<i>G. margarita</i>	3,55 a	0,151 ab	0,037 a	10,09 b	0,021 b
Sumber (<i>source</i>) P					
Tanpa pemupukan					
<i>Unfertilizer</i>	3,52 ab	0,15 b	0,013 b	2,15 b	0,028 a
P anorganik (<i>inorganic P</i>)	3,51 b	0,16 a	0,075 a	36,66 a	0,024 a
P organik (<i>organic P</i>)	3,64 a	0,15 b	0,014 b	2,54 b	0,027 a

¹⁾Angka dalam kolom yang sama pada masing-masing kelompok yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan ($P < 0,05$).

¹⁾Figure (s) in same column followed by the same letter is not significantly different according to Duncan multiple range test ($P < 0.05$).

Di rhizosfer, inokulasi *A. tuberculata* meningkatkan aktivitas fosfatase asam (Tabel 1). Dengan peningkatan aktivitas fosfatase kemungkinan terjadi penekanan produksi asam oksalat (Tabel 2). Namun, di rhizosfer terjadi penurunan pH yang nyata pada inokulasi *A. tuberculata* (Tabel 5). Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan produksi asam organik tidak mempengaruhi pH. Dalam percobaan ini kemungkinan penurunan pH dipengaruhi oleh adanya pemompaan H^+ ke larutan tanah oleh akar pada perlakuan inokulasi *A. tuberculata*. Peningkatan pemompaan H^+ dapat disebabkan defisiensi hara khususnya P. Selain itu, peningkatan pemompaan H^+ ke larutan tanah juga dapat disebabkan adanya serapan kation yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pemberian P anorganik (NH_4PO_4) nilai pH di rhizosfer nyata lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Diduga pada perlakuan ini terjadi peningkatan serapan NH_4 sehingga mendorong H^+ untuk keluar. Crowley & Rengel (2000)

Mengemukakan bahwa peningkatan pemompaan H^+ dapat disebabkan oleh respons tanaman terhadap defisiensi hara khususnya P atau tingginya serapan kation. Dari percobaan ini diduga kolonisasi CMA lebih menginduksi pengasaman rhizosfer.

Serapan hara dan pertumbuhan bibit kelapa sawit

Inokulasi CMA meningkatkan kadar N, P, dan K bibit dan peningkatan ini dipengaruhi spesies CMA (Tabel 6). Inokulasi *A. tuberculata* nyata meningkatkan kadar hara N, P, dan K demikian pula serapannya. Peningkatan serapan hara khususnya P pada tanaman yang dikolonisasi CMA telah banyak dikemukakan peneliti terdahulu. Dalam penelitian ini ditunjukkan bahwa peningkatan serapan P diduga disebabkan aktivitas fosfatase hifa eksternal *A. tuberculata* di hifosfer. Peningkatan serapan hara P kemungkinan dapat menyebabkan keseimbangan hara baru dalam tanaman sehingga menginduksi

Tabel 5. Pengaruh inokulasi dan sumber P terhadap kimia tanah rhizosfer bibit kelapa sawit umur 26 minggu.

Table 5. Effect of AM fungal inoculation and P source on soil characteristics of the hyphosphere of 26 weeks old oil palm seedling.

Pengaruh, Effect	pH	N (%)	P ₂ O ₅ total Total P ₂ O ₅ (%)	P tersedia (Olsen), Available P (mg/kg)	K total Total K (%)
Inokulasi CMA AMF inoculation					
Tanpa CMA (without AMF)	3,51 a ¹⁾	0,128 a	0,037 b	8,71 a	0,022 a
<i>A. tuberculata</i>	3,46 b	0,112 b	0,047 a	8,83 a	0,017 a
<i>G. margarita</i>	3,47 b	0,101 c	0,044 a	7,79 a	0,022 a
Sumber (Source) P					
Tanpa pemupukan Unfertilizer	3,49 a	0,11 a	0,023 b	1,25 b	0,016 a
P anorganik (inorganic P)	3,44 b	0,119 a	0,079 a	22,03 a	0,018 a
P organik (organic P)	3,51 a	0,112 a	0,026 b	2,06 b	0,028 a

¹⁾Angka dalam kolom yang sama pada masing-masing kelompok yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan ($P < 0,05$).

¹⁾Figure (s) in same column followed by the same letter is not significantly different according to Duncan multiple range test ($P < 0.05$).

Aktivitas fosfatase dan produksi asam organik di rhizosfer dan hifosfer

Tabel 6. Pengaruh inokulasi CMA dan sumber P terhadap kadar dan serapan hara pupuk bibit kelapa sawit umur 26 minggu.

Table 6. Effect of AM fungal inoculation and P sources on nutrient concentration and uptake of 26 weeks old oil palm seedlings.

Pengaruh Effect	Kadar, Concentration (%)			Serapan, (g/bibit), Uptake (g/seedling)		
	N	P	K	N	P	K
Inokulasi CMA						
<i>AMF inoculation</i>						
Tanpa CMA (<i>without AMF</i>)	2,278 b ¹⁾	0,126 b	1,64 c	3,569 b	196,3 b	2,76 b
<i>A. tuberculata</i>	2,701 a	0,174 a	2,12 a	5,871 a	376,2 a	4,61 a
<i>G. margarita</i>	2,326 b	0,131 b	1,93 b	3,607 b	208,1 b	3,16 b
Sumber (Source) P						
Tanpa pemupukan						
<i>Unfertilizer</i>	2,430 a	0,137 a	1,81 a	4,030 a	229,1 a	3,11 a
P anorganik (<i>inorganic P</i>)	2,489 a	0,150 a	1,97 a	4,793 a	294,3 a	3,49 a
P organik (<i>organic P</i>)	2,386 a	0,143 a	1,91 a	4,223 a	257,2 a	3,93 a

¹⁾Angka dalam kolom yang sama pada masing-masing kelompok yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan ($P < 0,05$).

¹⁾Figure (s) in same column in each group followed by the same letter is not significantly different according to Duncan multiple range test (DMRT $P < 0.05$).

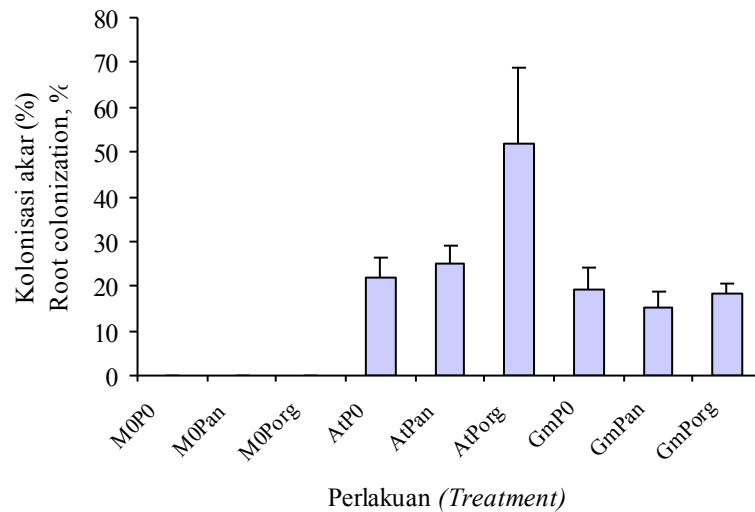
Tabel 7. Pengaruh inokulasi CMA dan sumber P terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit umur 26 minggu.

Table 7. Effect of AM fungal inoculation and P source on growth of 26 weeks old oil palm seedlings.

Pengaruh, Effect	Tinggi tanaman Plant height (cm)	Jumlah daun Leaf number	Luas daun Leaf width (cm ²)	Bobot basah, Fresh weight (g)	Bobot kering Dry weight (g)
Inokulasi CMA					
<i>AMF inoculation</i>					
Tanpa CMA (<i>without AMF</i>)	31,88 c ¹⁾	6,22 a	175 b	7,28 b	2,03 b
<i>A. tuberculata</i>	40,06 a	6,44 a	275 a	11,42 a	2,66 a
<i>G. margarita</i>	35,62 b	5,56 b	195 b	7,97 b	2,14 b
Sumber (Source) P					
Tanpa pemupukan					
<i>Unfertilizer</i>	35,46 a	5,89 a	197 a	8,17 a	2,16 a
P anorganik (<i>inorganic P</i>)	36,92 a	6,22 a	234 a	9,74 a	2,25 a
P organik (<i>organic P</i>)	35,17 a	6,11 a	215 a	8,75 a	2,42 a

¹⁾Angka dalam kolom yang sama pada masing-masing kelompok yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan ($P < 0,05$).

¹⁾Figure (s) in same column in each group followed by the same letter is not significantly different according to Duncan multiple range test ($P < 0.05$).



Gambar 2. Kolonisasi CMA pada kelapa sawit umur 26 minggu. Bar menunjukkan standar error rata-rata dari 3 ulangan. (M0, tanpa inokulasi CMA; At, *A. tuberculata*; Gm, *G. margarita*; 0, tanpa P, Pan, P anorganik; Porg, P organik).

Figure 2. AM fungal colonization in 26 weeks old oil palm seedlings. Bars denote standard errors of means of three replications. (M0, Without AM fungi inoc.; At, *A. tuberculata*; Gm, *G. margarita*; 0, without P; Pan, inorganic P; Porg, organic P).

serapan hara lain seperti N, dan K. Seiring dengan peningkatan serapan hara terjadi pola yang sama terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit. Inokulasi *A. tuberculata* meningkatkan secara nyata tinggi, luas daun, bobot basah, dan kering bibit kelapa sawit (Tabel 7).

Secara umum kolonisasi CMA dalam penelitian ini masih rendah. Kolonisasi tertinggi ialah pada bibit kelapa sawit yang diinokulasi *A. tuberculata* dengan pemberian P organik yaitu 50 % sedangkan perlakuan lainnya berkisar antara 10 % sampai 25% (Gambar 2). Pada percobaan ini kadar P tanaman sangat rendah yaitu kurang dari 0,2%. Orcutt & Nilsen (2000) mengemukakan bahwa pada tanaman bermikoriza, rendahnya kadar P tanaman

menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman belum mencapai maksimum.

Kesimpulan

Aktivitas fosfatase asam di rhizosfer bibit kelapa sawit yang diinokulasi CMA *A. tuberculata* meningkat secara nyata sedangkan produksi asam organik cenderung mengalami penurunan. Di hifosfer inokulasi CMA cenderung meningkatkan aktivitas fosfatase, namun secara nyata menurunkan produksi asam oksalat. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme peningkatan serapan P bibit kelapa sawit bermikoriza terjadi melalui mineralisasi P organik khususnya fitat di rhizosfer.

Daftar pustaka

- Ae, N., K. Arihara, K. Okada, T. Yoshihara, & C. Johansen (1990). Phosphorus uptake by pigeonpea and its role in cropping systems of Indian sub-continent. *Sci.*, **248**, 477-480.
- Blal, B., C. Morel, V. Gianinazzi-Pearson, J.C. Fardeau & S. Gianinazzi (1990). Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on phosphate fertilizer efficiency in two tropical acid soils planted with micropropagated oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq). *Biol. Fertil. Soils*. **9**, 43-48.
- Bolan, N. S. (1991). A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil*. **134**, 189-207.
- Crowley, D. E. & Z. Rengel (2000). Biology and Chemistry of Nutrient Availability in the Rhizosphere. In Z Rengel (Ed.) *Mineral Nutrition of Crops. Fundamental Mechanisms and Implications*. The Haworth Press, Inc. NY.
- Dodd, J. C., C. Buclon, R. G. Burns & P. Jeffries (1987). Phosphatase activity associated with the roots and the rhizosphere of plants infected with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, **107**, 163-172.
- Fabig, B., K. Vielhauer, A.M. Moawad & W. Achtnich (1989). Gas-chromatographic separation of organic acids and electrophoretic determination of phosphatases from VA mycorrhizal roots. *Z. Pflanzenernahr Bodenk.*, **152**, 261-265.
- Hardjono, A. (1988). Pemupukan P pada bibit kelapa sawit. *Menara Perkebunan*. **53** (1), 10-14.
- Harrison, M. J. (1999). Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Ann. Rev. Plant Biol.*, **50**, 161-189
- Joner, E. J. & I. Jakobsen (1995). Uptake of ³²P from labelled organic matter by mycorrhizal and non-mycorrhizal subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). *Plant Soil*, **172**, 221-227.
- Joner, E. J., T. Magid, S. Gahoonia & I. Jakobsen (1995). Phosphorus depletion and activity of phosphatases in the rhizosphere of mycorrhizal and nonmycorrhizal cucumber (*Cucumis sativus*, L.) *Soil Biol. Biochem.*, **27**, 1145-1151.
- Joner, E.J. & A. Johansen (2000). Phosphatase activity of external hyphae of two arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycol. Res.*, **104**, 12-16.
- Koske, R.E. & J.N. Gemma (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.*, **92**, 486-505.
- Ma, J. F., P. R. Ryan & E. Delhaize (2001). Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Sci.*, **6**, 273-278.
- Orcutt, D. M. & E. T. Nilsen (2000). *The Physiology of Plants Under Stress: Soil and Biotic Factors*. New York, John Wiley & Sons, Inc.

- Rao, A.V. & J.C. Tarafdar (1993). Role of VAM fungi in nutrient uptake and growth of cluster bean in an arid soil. *Arid Soil Res. Rehabilitation*, **7**, 275-280.
- Tarafdar, J.C. & H. Marschner (1994). Phosphatase activity in the rhizosphere and hiphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. *Soil Biol. Biochem.*, **26**, 387-395.
- Widiastuti, H., T. W. Darmono & D. H. Goenadi (1998). Respons bibit kelapa sawit terhadap inokulasi beberapa cendawan AM pada beberapa tingkat pemupukan. *Menara Perkebunan*, **66**, (1), 36-46.
- Widiastuti, H., E. Guhardja, N. Sukarno, L. K. Darusman, D. H. Goenadi & S. Smith (2002). Optimasi simbiosis cendawan mikoriza arbuskula *Acaulospora tuberculata* dan *Gigaspora margarita* pada bibit kelapa sawit di tanah masam. *Menara Perkebunan*, **70** (2), 54-62.
- Widiastuti, H., E. Guhardja, N. Sukarno, L. K. Darusman, D. H. Goenadi & S. Smith (2003). Arsitektur akar bibit kelapa sawit yang diinokulasi beberapa cendawan mikoriza arbuskula. *Menara Perkebunan*, **71** (1), 30-46.